

建筑企业数字化转型与碳减排：基于上市公司的证据

摘要：建筑业作为能源消耗与碳排放的关键领域，其碳减排举措对于实现“双碳”目标具有重要战略意义。研究基于 2000-2021 年中国上市建筑企业数据，实证探究数字化转型对碳减排的效应及作用路径。结果表明，数字化转型能够显著降低企业碳排放强度，主要通过推动绿色技术创新、提高全要素生产率、优化生产流程与经营结构三条路径实现。异质性分析表明，数字技术对行业竞争激烈企业的减排效应更为显著，区域间碳减排差异显著。本文为建筑领域碳中和路径提供参考依据。

关键词：企业数字化转型；碳减排；建筑企业碳排放；上市公司

0 引言

面对全球气候变化的严峻挑战，减少碳排放、实现碳中和已成为国际社会共识。中国在 2020 年郑重宣布“2030 年前实现碳达峰，2060 年前力争实现碳中和”的宏伟目标。2025 年，我国建筑与建筑业建造过程中的碳排放总量高达 51.3 亿吨，占据全国能源相关碳排放的 48.3%。其中，建筑与房屋建造环节的碳排放量尤为突出，达到 41.5 亿吨二氧化碳，占比高达 39.2%。数据清晰表明，建筑业在我国碳排放中占据举足轻重的地位，其碳减排工作成效直接关系我国“双碳”目标的实现进程。

2024 年中国工业与信息化部等多部门联合发布《中小企业数字化赋能专项行动方案（2025—2027 年）》，强调做好科技转型，全力支持企业数字化转型发展。企业数字化转型是推动经济可持续发展、助力美丽中国建设的重要手段，核心是业务转型，管理和商业模式的深度变革重构。我国产业结构转型、能源结构优化以及绿色技术创新，离不开企业数字化转型的有力支撑。

尽管建筑企业数字化转型被视为推动碳减排的重要途径，且潜力巨大，但关于建筑企业数字化转型对碳减排具体影响的实证研究相对匮乏。因此，本文旨在通过实证分析的方法，深入探究建筑企业数字化转型与碳减排之间的关系。研究将从实证分析、稳健性检验、机制分析及异质性分析四个方面展开，力求全面、深入地揭示数字化转型对碳减排的实际效果。

本文的研究不仅有助于揭示数字化转型在碳减排方面的潜在效应，还能为政府制定相关政策、企业规划转型策略提供科学决策依据。本文可能的边际贡献主要体现在以下三个方面：首先，通过实证分析建筑企业数字化转型与碳减排之间的关系，有望丰富和完善数字化转型与环境保护领域的理论体系，提供新的视角和方法论；其次，对于建筑企业而言，本文的研究结果将揭示数字化转型在降低碳排放方面的实际效果，为企业提供转型的动力和方向参考。同时，政府也可以依据本文的研究结果，制定更加精准的数字化转型扶持政策和绿色金融政策，从而推动建筑企业实现绿色低碳发展，为我国的“双碳”目标贡献力量。

1 文献综述

相关研究聚焦于数字化转型对建筑行业发展和企业自身运营产生的多方面影响。数字技术通过推动建筑行业信息化转型、促进智能技术与装配式建筑融合及优化企业管理效能,显著提升了行业生产效率与企业核心竞争力。在行业发展层面,数字技术为建筑行业带来深刻变革。建筑业是传统行业中信息化、数字化最低的产业之一,如果能更快地实现数字化转型,则更能在市场竞争中占据优势地位(杨英楠等,2022)^[1]。近年来快速发展的数字化感知、分析与决策服务技术,可使建筑施工行业向技术密集型产业转型升级,为建筑工程施工的发展带来新的机遇(王璞瑾等,2024)^[2]。智能控制技术与装配式建筑生产有机融合,在装配式建筑甚至整个建筑行业具有不可替代性,同时标志一种新型装配式建筑智能化生产模式诞生(刘佳等,2023)^[3]。数字化技术的应用能够提升建筑行业的整体生产效率,推动行业高效发展。从企业运营层面,数字化转型为建筑企业带来诸多积极改变。建筑企业数字化转型要确保将数据治理与业务创新深度融合,充分整合业务管理经验和数字化技术,确保数字化技术能够在实际业务中得到有效应用(江文化等,2024)^[4]。建筑行业数字化转型能够改善企业各部门沟通信息分散、沟通效率低的情况,构建上下贯通、内外联动的职能管控体系,提高员工工作效率和企业管理效率(李平瑞和赵旭,2023)^[5]。

碳减排已成为全球应对气候变暖的关键举措,对于建筑企业而言,碳减排路径和效果是研究的重点。建筑行业在全球温室气体排放和废物产生中占很大份额,数字化转型有望为该行业最紧迫的挑战提供新的解决方案(Kathrin and Cordula,2023)^[7]。有学者研究发现,数字经济具有显著的减碳效应(田晖和张俊鹏,2025;肖义和孔庆申,2025)^{[28][29]}。数字技术通过优化资源利用、提高运营效率和最大限度地减少对环境的影响,使建筑物更加集成、灵活、节能、智能和可持续(Asif et al.,2024)。企业采取传统生产方式负担的成本是判定企业低碳转型速率快慢的关键因素(罗福周和唐佳,2020)^[9],数字化转型能够显著促进我国建筑企业的碳减排效果,并且可以通过提升技术创新和提高企业社会关注度,进而促进碳减排(何理等,2025)^[10]。然而,也有研究指出数字化转型与建筑企业碳减排之间的关系较为复杂。部分学者认为数字经济与碳排放之间存在非线性关系(彭文斌等,2024;赵文武,2024;邵涛等,2024)^{[30][31]},指出随着数字经济发展到更高水平,减排效果变得更加明显。王凯等人(2024)发现数字经济与碳排放之间存在倒U型关系,在资源稀缺地区减排效果更大(Li, Z et al.,2024)^[34]。在对这一关系研究的基础上,许多学者进一步探讨了数字经济影响碳排放的机制。陶长琪等人(2025)^[23]发现,数字经济发展通过技术进步、结构优化和加强教育来促进碳减排。数字经济减少了不必要的资源浪费,改变了传统的能源使用模式,加速低碳产业替代高碳产业(高峰等,2025;张秀武和沈洋,2025;杨屹和苏越,2025;J.Cook P,2017)^{[25][26][27]},并通过减少能源需求来降低碳排放强度(Zhao S et al,2024)^[33]。虽然数字化技术为碳减排提供了新的机遇,但在数字化转型初期,企业可能会因设备更新、技术投入等导致短期内能源消耗增加,碳排放出现波动(王雯洁等,2024)^[11]。现有文献主要集中在数字化转型与碳减排之间的关系,然而对低碳技术的影响及技术进步如何促进低碳技术和可持续经济发展,仍需要进一步研究。首先,关于数字经济对技术进步影响的研究大多集中在它是否提高能源效率,为长期经济增长提供新动力。关于数字经济如何通过间接赋能不同的企业生产要素来影响技术进步,目前缺乏研究。其次,许多研究从环境治理、产业结构优化和资源利用等角度探讨了数字

经济对碳排放的影响。较少有学者从企业数字技术进步视角出发,通过数字经济对各种因素的差异赋能效应来关注数字经济对碳排放的影响。本文通过研究数字化转型提升企业创新机制、全要素生产率与生产经营结构优化以促进企业碳排放减少,进一步降低区域总碳排放,并对区域异质性进行进一步分析。

2 理论分析与研究假设

本文聚焦建筑企业,深入分析数字化转型对其碳减排的影响及内在机制,提出以下三个研究假设。

数字化转型通过重构建筑企业的资源配置与运营模式,以降低能耗。数字技术的深度应用不仅改变了传统建筑行业的生产方式,还通过实时数据采集与分析优化了能源利用效率。例如,物联网与大数据技术能够对建筑全生命周期的能源消耗进行精准监控,减少施工与运行阶段的冗余能耗。在施工阶段,智能设备调度系统可降低机械空转率;在建筑运行阶段,智能管理系统通过动态调节空调、照明等设备的使用,显著减少碳排放。此外,数字化的供应链管理能够优化建材运输路线与库存水平,降低隐含碳排放(张珺倩等, 2025)^[13]。数字化转型通过提升资源整合能力与决策效率实现碳减排。因此,本文提出假设 H1,认为数字化转型能够显著降低建筑企业的碳排放强度。

H1: 数字化转型能够显著降低建筑企业的碳排放强度

数字化转型的碳减排效应并非单一路径作用,可通过技术创新、效率提升与结构优化的协同机制实现。首先,数字技术加速绿色创新。建筑信息模型(BIM)、人工智能等工具不仅缩短绿色技术的研发周期,还通过模拟优化建筑设计方案,减少建材资源浪费并降低施工能耗。例如,三一筑工开发的 SPCS 系统通过标准化装配式生产技术,显著降低了建材损耗与施工中断导致的能源浪费。其次,数字化工具通过自动化与智能化改造提升生产要素效率。智能算法可优化施工流程,减少人力与设备闲置时间;区块链技术则通过透明化碳排放数据,提升监管与追溯效率(蓝发钦等, 2025)^[24]。数字化转型显著提升全要素生产率并降低了经营成本率,印证效率提升路径的有效性。最后,数字化转型推动企业从高碳向低碳模式转型。例如,建筑企业通过数字化市场分析增加绿色建筑项目占比,并利用碳核算平台优化供应链管理,实现全生命周期减排(严坤等, 2023)^[22]。上述三重路径的交互作用表明,数字化转型通过技术赋能、效率驱动与结构重塑的综合效应,为建筑企业碳减排提供了系统性解决方案,故提出假设 H2。

H2: 数字化转型通过技术创新、生产要素效率提升和生产经营结构优化以实现碳减排

中国建筑行业内部的结构差异与区域发展不均衡,导致数字化转型的碳减排效果呈现非对称特征。在产权异质性方面,国有与非国有企业的制度环境差异显著影响数字化转型的实施效果。国有企业受制于冗长的决策流程与行政化目标导向,通常更倾向于通过行政指令推动数字化,较缺乏灵活的技术应用场景(韩超等, 2020)^[20]。例如,非国有企业更易采用智能建造技术优化能耗(朱丽等, 2022)^[19],而国有企业可能因管理层级复杂难以释放数字化潜力(张骏等, 2025)^[32]。在地区异质性方面,尽管东部沿海地区拥有更完善的数字基础设施与政策支持,但源于中西部地区通过“后发优势”加速数字基建布局,逐步缩小与东部的技术鸿沟。例如,中西部企业通过引入云计算与远程协作平台,克服本地技术短板,实现与东部相近的减排效率。这表明,数字化转型的普惠性特征使其碳减排效应能够突破区域发展不平衡的限制,但其在产权性质上的异质性仍需政策针

对性干预。因此，本文提出假设 H3，强调需结合企业属性与区域特征制定差异化的转型策略。

H3：数字化转型的碳减排效应存在产权异质性和地区异质性

3 研究数据与模型设计

3.1 模型假设

3.1.1 基准回归模型

根据前述理论分析，本文设计基准回归模型：

$$intenco_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 Digit_{it} + \sum \alpha_k Controls_{it} + year + firm + year + \xi_{it} \quad (1)$$

其中， $intenco_{2it}$ 表示企业 i 在第 t 年的碳排放强度。核心解释变量为 $digitalit$ ，代表企业 i 在 t 年的数字化转型程度； $Controls$ 为控制变量集模型还控制了时间固定效应 $Year$ 和企业固定效应 $Firm$ ； ξ_{it} 为随机误差项。

3.1.2 交互效应模型

为了深入探究数字接入水平所产生的影响,本文将中国各地区划分为东部沿海地区和其他地区,同时构建地区虚拟变量和数字化转型的交互项($region \times digital$),以此来区分地区对数字化碳减排效应的异质性影响。

$$intenco_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 Digit_{it} + \alpha_1 (Digit_{it} \times region) + \sum \alpha_k Controls_{it} + year + firm + year + \xi_{it}$$

3.1.3 中介模型

为了检验企业数字化转型对碳排放影响的中介机制，本研究借鉴了 Abbott, K.W. (2017) 和 Wilkinson, L. (1979)，他们使用“逐步回归法”估计了中间变量。具体而言，以全要素生产率（TF）、创新水平（Inv）和研发强度（RD）为中间变量，对基准回归进行检验，构建相应的研究模型。

$$Media_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Digit_{it} + \sum \beta_x Control_{i,t} + \sum Code + \sum Year + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$intenco_{2i,t} = \delta_0 + \delta_1 DT_{i,t} + \delta_2 Media_{i,t} + \sum \delta_x Control_{i,t} + \sum Code + \sum Year + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

当（4）和（3）中的系数显著时，中介变量起中介作用。当（4）中的系数显著时，表明中介效应是局部的，反之亦然。，都很重要，这意味着中介变量起着中介作用。当（4）中的系数显著时，这表明调解效果是部分调解效果，否则是完全调解效果。

3.2 数据来源与变量说明

3.2.1 数据来源

本文的研究样本来自中国 A 股上市建筑业公司 2000—2021 年度数据；相关企业年报从深圳和上海证券交易所官网获取；上市企业相关数据来自国泰安（CSMAR）数据库，同时本文对非比值连续变量进行 1%的缩尾处理，以削减异常值的影响。本文对于企业年报未进行披露数字化转型的数据进行剔除，且建筑业分为行业类别为：土木工程建筑业、建筑装饰、装修和其他建筑业、建筑安装业、房屋建筑业（表 2）。

表 1 原始样本分类

行业分类	计数	占比
土木工程建筑业	837	74.9%
建筑装饰、装修和其他建筑业	226	20.2%
建筑安装业	28	2.5%
房屋建筑业	27	2.4%

本文数据处理过程如下：

（1）对数变换
第二步，对具有偏态分布的变量进行对数变换，减少偏态数据的影响，使数据分布更接近正态分布，有利于后续的统计分析。对数变换如公式（3）所示

$$y = \log (x + 1) \tag{3}$$

（2）缺失值填补
为了处理缺失数据，采用插值方法填补时间序列数据中的空白值。采用方程（4）的线性插值公式。

$$X_{miss} = X_{after} + \frac{X_{after} - X_{before}}{2} \tag{4}$$

“ X_{miss} ”表示缺失数据，“ X_{before} ”和“ X_{after} ”分别表示缺失数据点之前和之后的数据。

3.2.2 变量说明

本文主要变量的描述性统计如附表 3 所示。相关变量的具体说明如下：
(1)被解释变量：企业二氧化碳排放强度（intenco2）。
由于中国政府没有强制企业披露其碳排放数据，因此当前缺乏微观层面的企业碳排放数据。本文采用与 BorozanD et al.（2024）^[12]的方法，通过间接测算企业二氧化碳排放量，考虑到企业的碳排放和规模之间的关系，本文使用企业总资产对碳排放量进行标准化处理，以单位总资产碳排放量此来衡量企业碳排放强度。上

述企业的数据都来自国泰安数据库。TECjt 代表行业能源消耗总量，数据来源于《中国能源统计年鉴》，并根据二氧化碳转换因子计算得出（张珺倩等，2025）^[13]。

（2）核心解释变量：上市公司数字化转型程度（Digital）。

关于公司数字化转型的测度方法已经比较成熟，衡量方法采用文本分析法。本文首先构建数字化转型关键词表¹；然后使用 Python 软件对将该词表与上市公司年报文本进行匹配，并使用 Jieba 功能模块统计出上市公司年报文件中相关关键词出现的词频；最后，将该词频加 1 进行对数化处理后得到企业数字化转型指标。

表 2 企业数字化转型关键词表描述性统计

描述统计					
	N	最小值	最大值	平均值	标准差
id	63051	1	900957	333696.67	283115.852
year	63051	1999	2023	2014.86	6.504
全文文本总长度	63051	4515	1510208	167821.59	62614.712
仅中英文文本总长度	63051	0	586417	87277.28	35609.250
人工智能技术	63051	0	460	1.47	8.397
区块链技术	63051	0	126	.23	2.283
云计算技术	63051	0	391	2.27	10.115
大数据技术	63051	0	334	2.20	9.582
数字技术应用	63051	0	497	4.46	14.583
数字化转型	63051	0	589	10.65	30.241
有效个案数（成列）	63051				

（3）控制变量。本文将企业层面指标纳入控制变量：企业产权性质（soe，国有企业取 0，民营企业取 1）、董事会规模（board，董事会成员人数取对数）、企业年龄对数（age）、资产负债率（lev）、净资产收益率（roe）、经营性现金流（cf）、销售增长率（growth）、净利润增长率（gprofit）有形资产占比（tangibi）、独立董事占比（indep）、第一大股东持股占比（top1）、董事长和总经理二值合一（dual）、产权性质（soe）

表 3 变量说明

变量类型	符号	变量说明
被解释变量	intenco2	企业碳排放强度
解释变量	digital	企业数字化转型，ln(企业数字化转型的相关词频+1)
控制变量	age	企业年龄
	lev	资产负债率
	roe	净资产收益率
	cflow	经营性现金流
	growth	销售增长率
	gprofit	净利润增长率

¹ 企业数字化转型关键词表参考吴非（2021）的做法，数字化转型分为人工智能技术、区块链技术等。

Tangibi	有形资产占比
board	董事会规模
indep	独立董事占比
Top1	第一大股东持股占比
dual1	董事长兼任总经理取值为 1，否则为 0
soe	产权性质，国有企业取 0，民营企业取 1

描述性统计分析表明（表 4），研究样本涵盖 1118 个观测对象，核心变量呈现多维度分布特征。财务绩效方面，企业净资产收益率（ROE）均值仅 0.023%，但标准差达 1.343%，反映样本企业盈利能力存在显著分化。现金流（Cflow）集中度较高，中位数 0.014 接近均值 0.008，但负值下限（-3.224）揭示部分企业财务流动性风险。财务杠杆（Finlev）呈现右偏分布，表明多数企业保持适中杠杆水平，但存在个别高杠杆运营案例。

4 实证分析

表 4 描述性统计

名称	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	中位数
age	1118	-1.000	28.000	8.474	6.764	7.000
roe	1118	-13.949	29.725	0.023	1.343	0.070
cflow	1118	-3.224	0.325	0.008	0.139	0.014
Finlev	1118	0.000	0.908	0.359	0.232	0.357
growth	1118	-0.747	82.792	0.511	3.742	0.108
gprofit	1118	-1058.374	4254.917	4.980	179.507	0.123
size	1118	16.185	26.282	22.358	1.313	22.237
董事会规模	1118	0.000	18.000	9.075	1.723	9.000
独立董事数量	1118	0.000	5.000	3.170	0.860	3.000
独立董事占比	1118	0.000	0.571	0.357	0.090	0.333
top1	1118	4.420	87.460	34.285	14.331	33.670
股权性质	1118	1.000	6.000	3.467	1.535	2.000
碳排放强度	1118	14.005	547276.396	19274.929	44711.957	5962.537
soe	1118	0.000	1.000	0.517	0.500	1.000
intenco2	1118	32.248	1260150.472	44382.164	102953.085	13729.249
董事长是否兼任总经理	1118	0.000	1.000	0.199	0.400	0.000
企业碳排放 lg	1118	2.449	7.152	5.158	0.673	5.120
地区碳排放 lg	1118	2.693	3.814	3.530	0.199	3.579
数字化转型等级	1118	0.000	4.000	1.128	1.675	0.000
数字化转型词频占比	1118	0.000	3.135	0.240	0.675	0.000
Dig	1118	0.000	13.000	0.474	1.689	0.000

4.1 基准回归

表 4 报告了根据式（1）进行拟合回归的结果。列（1）给出了只加入核心解释变量的结果，可以发现企业数字化转型能够显著降低企业碳排放强度；在此基础上，第（2）列和第（3）列又分别控制了企业所在行业和地区的固定效应，digital 系数依然显著为负；最后，第（4）加入了控制变量进行回归，结果依然稳健，表明企业数字化转型的程度越高，企业碳减排效果越好。由此，表 5 的回归结果证明了企业数字化转型能够促进企业减少碳排放。即验证研究假设 H1。

表 5 数字化转型对建筑业企业碳排放的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Digital	intenCo2	intenCo2	intenCo2	intenCo2
const	-0.0001***	-0.0001***	-0.0001***	-0.0001***
age				0.031
roe				0.011
inlev				0.110
cflow				0.658
gprofit				0.005
growth				-0.005
board				0.165
indep				1.169
Top1				0.006
Tangibi				-2.523
equity				-0.187
dual				-0.231
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	否	是	是	是
企业固定效应	否	否	是	是
样本数量	805	805	805	805
R ²	0.184	0.183	0.182	0.083

4.2 稳健性检验

4.2.1 替换核心解释变量

为进一步验证结论的稳健性，将核心解释变量进行替换以进行稳健性检验，首先本文采用吴非(2021)^[18]企业数字化转型词频和词频占比来衡量企业数字化转型，记为 Dig1 和 Dig2，结果如表 5 第 (1) 和 (2) 列所示,第二使用吴非 (2021)^[18]、张珺倩 (2024)^[13]等人的数字化转型评级指标（记为 Dig3）来衡量企业数字化转型的程度，结果如第 (3) 列所示，结果仍然显著。其次使用化石燃料二氧化硫排放量(SO2)代替企业碳排放进行回归得到结果如列 (4) 所示,可知结果仍然显著，数字化转型有效减少了企业碳排放，同时有效降低了其他污染物的碳排放。

表 6 稳健性检验：替换核心解释变量和解释变量

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	intenCO2	intenCO2	intenCO2	SO2
Dig1	-0.026**			
Dig2		-0.103***		-151596.814***
Dig3			-0.001***	
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是

样本数量	1118	1118	1118	1118
R ²	0.072	0.060	0.177	0.008

4.2.2 替换样本回归

在剔除直辖市后，本研究采用固定效应（FE）模型对建筑企业数字化转型与碳排放的关系进行了实证分析。模型整体显著性极高，F 统计量为 300.989

（ $p=0.000$ ），表明模型对数据的拟合效果较好，能够较好地解释因变量的变异。R² 值为 0.118，R² (within) 为 0.367，说明模型在组内（即剔除直辖市后）的解释力较强。

本研究通过剔除直辖市后的面板回归分析，进一步验证了数字化转型对建筑企业碳排放的负向影响，结果如表 7 所示。这与现有文献中关于数字化转型与碳减排关系的研究结论一致^{[40][6][50]}。数字化转型通过促进绿色技术的研发与应用、提高资源利用效率、优化生产流程等方式，显著降低了建筑企业的碳排放强度。此外，本研究还发现，在剔除直辖市后，其他变量如产权性质、有形资产占比、董事会规模等对碳排放的影响不再显著，这可能是由于直辖市在经济发展水平、政策环境等方面具有特殊性，剔除后这些特殊性被消除，导致这些变量对碳排放的影响不再明显。

表 7 剔除直辖市回归结果

变量	(1)
	intenCo2
Digital	-0.0001*(0.020)
控制变量	是
Year	是
地区	是
Code	是
N	738
R ²	0.118

4.2.3 内生性问题

本文采取以下两类方法对内生性问题进行处理，一是工具变量法。本文通过选取 1984 年各地级市邮局数量作为企业数字化转型的工具变量（iv）以此反映各地级市在早期的信息化发展水平以及民间信息交流的活跃程度[6]。如表 8 列（1）所示，在第一阶段回归中，iv 系数为 0.0001，且在 1%水平上显著，表明工具变量与内生变量强相关，满足相关性要求。如表 3 列（2）所示，在第二阶段回归中，Dig 系数为-0.001，表明数字化转型显著降低碳排放，支持 H1 假设。由于邮局的主要职能是信息传递，与建筑企业的碳减排绩效没有直接关联度，因此也符合外生性要求。如表 7 列（3）和（4）所示，在试点政策回归分析中，交互项（du*Dig）系数达到 161.637，这反映出试点政策因高耗能产业扩张，可能削弱数字化转型的减排效果；而交互项（lag1_du*dig）系数为 148.335，表明该试点政策对此冲击具有一定持续性。

表 8 内生性检验结果

变量	2SLS 回归		试点政策回归	
	Dig	CO ₂	地区 CO ₂	地区 CO ₂
iv 电话*上一年 互联网用户数	0.0001** (7.688)			
		-0.001** (-2.786)		
Dig			161.637** (6.727)	
du*Dig				148.335** (6.080)
Lag1_du*dig				
	200.672 (1.727)	-4.082** (-15.499)	4595.951** (3.438)	4277.729** (3.170)
cons				
Year	否	否	否	否
Code	否	否	否	否
N	478	478	292	292
R ²	0.317	0.937	0.190	0.169

同时，根据数字经济的发展历史，深圳和杭州被认为是中国数字经济的发源地。基于工具变量的相关性和外生条件，本研究选择每家企业到深圳和杭州的最近球面地理距离（Indis）的自然对数作为企业数字化转型的工具变量，进一步检验内生性。

为了控制足够的固定效应，还构建了时变工具变量。构建 Indis 和时间趋势项（Indis * year）之间的相互作用项，并继续使用两阶段最小二乘估计（2SLS）进行工具变量回归（表 9）。WaldF 统计量均大于 Stock Logo 检验中 10% 的临界值，表明工具变量合理可靠。企业数字化指数的回归系数显著为负，仍然证明结论稳健。

表 9 内生性检验结果（Indis）

	IV1:Indis		IV2:Indis × Year	
	Dig	CO ₂	Dig	CO ₂
Iv1:lnDis（杭州）	-0.134* (-1.83)			
		-0.038*** (-2.786)		
Dig			-0.002*** (-3.638)	
Iv2:Indis × Year				
	-11.128 (-6.572)	-15.95*** (-15.950)	315.691*** (36.426)	4277.729** (3.170)
Cons				
Year	No	No	No	No
Code	YES	YES	YES	YES
N	1118	1118	1118	1118

	Wald=8450.151		Wald=785.396	
Wald F statistic	P=0.000***		P=0.000***	
R ²	0.859	0.88	0.163	0.169

4.3 机制分析

根据前文实证分析结果表明，数字化转型能够显著降低建筑企业碳排放量，即支持数字化转型的碳减排观点。于是本部分将从企业创新、效率提升和生产经营结构优化三个维度来分析数字化转型的碳减排机制。

数字化转型的创新机制

4.3.1 数字化转型的创新机制

首先，建筑企业数字化转型通过促进绿色技术创新，对建筑企业的碳减排效果产生积极影响。随着数字化技术的广泛应用，建筑企业能够更有效地整合内外部资源，加速新技术的研发和应用。绿色专利作为建筑企业技术创新的重要成果，其数量的增加直接反映了建筑企业在环保和节能技术方面的投入和成效。本文使用取绿色专利的数量的对数（ $\ln gpat$ ）来测度企业绿色技术创新水平。实证分析如表 9 第（1）列所示，数字化转型程度与绿色专利数量呈正相关关系，表明数字化转型有助于提高了绿色专利的产出效率，促进了绿色专利在实际建筑生产中的应用，同时激发建筑企业的绿色创新能力，从而降低了碳排放强度。第二，建筑企业研发投入的增加也是数字化转型推动技术创新的重要体现。如表 9 第（2）列所示，数字化转型程度与建筑企业研发投入之间也存在显著正相关关系，这意味着数字化转型为建筑企业提供了更多的研发资源和动力，促进了节能减排技术的研发和应用。数字化转型使得建筑企业能够更精准地把握建筑市场需求和建造技术趋势，从而合理分配研发资源，提高研发效率。这种投入的增加不仅促进了新技术的诞生，还加速了现有技术的优化和升级，进一步推动了碳减排的实现。

4.3.2 数字化转型的效率提升机制

根据前文实证分析的研究可知，建筑企业的数字化转型不仅有利于提高全要素生产率，同时还可能通过运筹优化生产流程、减少建筑产品生产中断等方式提高生产效率，以此助力建筑企业减少碳排放效应。本文分别使用 OP 法和 LP 法测算的全要素作为企业生产效率的代理变量。根据相关回归分析结果可知，如表 4 第（3）和（4）列所示，数字化转型程度与全要素生产率呈显著正相关关系，表明数字化转型有助于提高建筑企业生产效率。生产效率的提升意味着在相同产出下，建筑企业消耗的资源 and 产生的碳排放将减少。三一筑工创新研发的装配式混凝土建筑 SPCS 系统简化了建设流程，实现了“墙柱梁板全预制+地上地下全装配”。这一技术体系具有“空腔搭接加后浇、等效异构好快省”的整体优势，直击建筑结构安全、漏水、外墙保温、劳工不足、效率低、造价高等痛点，显著提高了全要素的生产效率，重构建筑业生态，实现建筑企业低碳高质量发展[5]。

4.3.3 生产经营结构优化

首先，数字化技术的广泛应用能够显著提高建筑企业在全生命周期中资源的利用效率，从而减少各种污染建筑废料物的排放。本文使用经营成本率（ $cost$ ）（营业成本/营业收入）来衡量企业生产经营优化程度的负向指标。其次，我们通过内部控制提高建筑企业的经营效率，实现企业多元化层次发展战略。我们采

用学术界广泛认可的“迪博中国上市公司内部控制指数”（简称 InnCt）作为衡量内部控制水平的指标，该指数全面覆盖了内部环境、风险评估、控制活动、信息沟通与内部监督等多个关键维度。由相关回归分析结果表明，如表 9 第（5）和（6）列所示，数字化转型程度与经营成本率呈负相关关系，且系数显著，表明数字化转型有助于降低建筑企业经营成本。这种成本降低可能来源于生产效率的提升、资源利用的优化等方面，进而有助于减少碳排放。结合前文，可验证研究假设 H2。建筑企业通过运用大数据、人工智能等数字技术可以实现自动化和智能化的生产，减少重复性和低价值的人工任务，大大减少人力成本和时间成本，从而实现降本增效。利用智能建筑管理系统优化能源使用，减少能源消耗和排放。同时建筑企业还可以利用数字化技术提高碳核算精度，增强碳排信息披露合规透明性，推动碳市场交易，实现可持续发展。

表 10 机制分析结果

变量	企业创新		效率提升		生产经营结构优化	
	Lngpat (1)	RD (2)	TEP_OP (3)	TFP_LP (4)	Cost (5)	Innct (6)
digital	0.001** (0.0094)	0.053* (0.0264)	0.001*** (0.0001)	0.003*** (0.0001)	-0.001* (0.0031)	-0.001*** (0.0001)
控制变量	是	是	是	是	是	是
Year	是	是	是	是	是	是
Code	是	是	是	是	是	是
N	1118	1118	1118	1118	1118	1118
R ²	0.126	0.234	0.344	0.124	0.231	0.365

4.3.4 中介作用分析

本研究通过构建中介效应模型，深入探讨了数字化转型影响企业碳排放强度的三条途径，即研发创新途径、全要素生产率（TFP）提高途径和运营成本优化途径。

1.研发创新（R&D）路径

中介效应检验结果表明，数字化转型显著促进了企业的研发创新活动（dig对研发的回归系数为 0.0009, $p<0.01$ ）（表 10）研发强度的增加显著降低了企业的碳排放强度（研发对 intCO2 的回归系数是-0.0003, $p<0.01$ ）这表明数字化转型可以通过促进绿色技术研发间接降低碳排放强度。验证了数字化转型通过技术赋能实现环境效益的理论逻辑。

2.提高全要素生产率的途径

尽管数字化转型对全要素生产率的直接影响并不显著（dig对 TFP 的回归系数为-0.0004, $p>0.05$ ），但全要素生产率显著提高降低了碳排放强度（intCO2 的 TFP 回归系数为 0.0003, $p<0.01$ ）（表 11）这表明数字化转型可以通过优化要素配置效率间接抑制碳排放。其经济学解释是，数字化转型通过数据驱动决策、智能生产调度等功能提高资源利用效率，从而在保持相同产出水平的同时降低能耗和碳排放。

3.运营成本优化路径

数字化转型显著降低了企业的运营成本（挖掘成本的回归系数为-0.0001，

p<0.01), 成本优化与碳排放强度呈正相关(成本对 intCO2 的回归系数是 0.0013, p<0.01) (表 12)。这表明, 数字化转型通过精益管理和供应链协作等机制降低了运营成本, 同时也间接降低了碳排放强度。其内在逻辑是, 成本优化通常伴随着能源效率的提高和浪费的减少, 例如通过智能物流系统降低运输能耗, 或通过预测性维护减少设备闲置。

表 11 中介模型结果(研发投入 RD)

	R&D	intenco2	intenco2
Constan	-1.4879*	-5.2209**	-5.0849**
t	(-2.2040)	(-17.8752)	(-17.6881)
dig	0.0009**	-0.0003**	-0.0004**
	(3.9934)	(-3.4576)	(-4.3140)
R&D			0.0914**
			(4.4187)
N	434	434	434
R ²	0.7563	0.9435	0.9460
F	F(14,419)=92.8990,p=0.000	F(14,419)=499.5128,p=0.000	F(15,418)=488.1262,p=0.000
	0	0	0

*p<0.05 **p<0.01

表 12 中介模型结果(全要素生产率 TFP)

	TFP_FE	intenco2	intenco2
Constant	-12.9142**	-5.2544**	-5.0106**
	(-4.7034)	(-18.1002)	(-17.1286)
dig	-0.0004	-0.0003**	-0.0003**
	(-0.5329)	(-3.5680)	(-3.5247)
TFP			0.0189**
			(3.9470)
N	488	488	488
R ²	0.4489	0.9363	0.9383
F	F(13,474)=29.6959,p=0.0000	F(13,474)=535.6878,p=0.0000	F(14,473)=513.8367,p=0.0000

*p<0.05 **p<0.01

表 13 中介模型结果(企业经营成本率 Cost)

	Cost	intenco2	intenco2
constant	0.1457	0.3209	0.3835
	(1.4562)	(0.4198)	(0.5008)
digi	-0.0001	0.0014**	0.0013**
	(-1.8354)	(5.3725)	(5.2536)
Cost			-0.4295
			(-1.2285)
N	488	488	488
R ²	0.1946	0.4317	0.4335
F	F(10,477)=11.5274,p=0.0000	F(10,477)=36.2380,p=0.0000	F(11,476)=33.1160,p=0.0000

*p<0.05 **p<0.01

4.4 异质性检验

在建筑企业属性存在差异的背景下,其数字化转型所带来的碳减排效果可能呈现出非对称性的特征。针对这一现状,深入探讨并区分不同建筑企业的数字化转型碳减排效应,有助于制定更为精准和差异化的政策导向。为了达到这一目的,本文将全面审视建筑企业的数字化转型实践,按照地区差异、产权性质、及所采用的数字技术进行细致的分类讨论。

4.4.1 地区异质性

中国幅员辽阔，不同地区的数字发展水平各不相同，这可能会导致数字“准入壁垒”。为了进一步探讨数字接入水平的影响，本文将中国所有地区分为东部、中部、西部和北部地区，并按省份对上市公司进行分析。东部地区通常是指中国行政区划中的一系列省、直辖市。本文所涵盖的东部地区上市公司包括六个省市：安徽、福建、江苏、山东、上海和浙江。东部地区通常经济发达，工业化和城市化水平较高。同时，它也处于中国对外开放和经济发展的前沿。自然资源丰富，交通网络便利，科教资源高度集中，市场体系相对完善，在中国经济发展中占有重要地位。表 13 的结果表明，在企业数字化过程中，中国不同地区的碳减排效果存在显著差异，也表明支持 H3 研究假设的企业数字化转型中碳减排效果的区域异质性。企业数字化转型的碳减排效果在东部地区显著，而在中部和南部地区系数为正，但不显著。

表 14 分组回归结果

	整体	东部	北部	中部	南部
Constan	16.949*	12.030	42.412	-861.647	-9.930
t	(2.271)	(1.186)	(1.164)	(-1.387)	(-0.884)
Digital	-0.013	-0.054**	-0.020	0.128	0.030
	(-1.020)	(-3.049)	(-0.423)	(1.821)	(1.635)
N	1118	473	307	71	267

	整体	东部	北部	中部	南部
R^2	0.826	0.890	0.924	0.980	0.818
F	$F(16,336)=99.415, p=0.00$	$F(16,141)=71.567, p=0.0$	$F(16,43)=32.732, p=0.0$	$F(16,15)=46.166, p=0.0$	$F(16,86)=24.205, p=0.0$
	0	00	00	000	00
* $p<0.05$ ** $p<0.01$					
Code	YES	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES	YES

东部地区（系数-0.054， $p<0.01$ ）：数字化转型对碳排放具有显著的抑制作用，与理论预期一致。这可能是由于东部地区企业技术基础雄厚，数字化转型更侧重于优化能源结构和迭代绿色技术；中部地区（系数 0.128， $p=0.082$ ）：正效应接近显著，或由于中部企业正处于工业化的关键时期，数字化转型在短期内伴随着产能扩张，导致碳排放增加；南部地区（系数 0.030， $p=0.109$ ）：积极影响不显著，可能与南部地区外向型经济特征有关。数字化转型侧重于市场反应，而不是生产侧减排。进一步的分组回归结果表明，东部地区企业的数字化转型显示出显著的碳减排红利，而中西部地区需要配套的结构性改革来释放数字技术的潜力。

中部地区企业正处于工业化的关键时期，数字化转型初期可能伴随着产能扩张，以满足市场需求，增强竞争力。在此过程中，设备更新、技术投资和生产规模的扩大可能会暂时增加能源消耗和碳排放，从而掩盖数字化转型的长期潜在碳减排效果。尽管中部地区正在加快数字基础设施布局，但与东部地区相比，其数字技术应用可能仍处于相对早期的阶段。如果数字化转型只停留在表面，不能深入推进绿色技术创新，优化生产流程和管理结构，就难以实现显著的碳减排效果。

4.4.2 产权异质性

不同所有制建筑企业在面对数字化转型这一技术革新时,由于所处的政策环境和受到的目标激励各不相同,往往会采取不同的应对策略。为了探究所有制差

异对数字化转型碳减排成效的影响,本文构建建筑企业所有制逻辑变量和数字化转型的交互项($\text{digital} \times \text{soe}$),以检验不同产权性质建筑企业在数字化转型过程中对碳减排的影响是否存在显著差异。研究结果如表 15 第(1)列所示,交互项系数显著,这表明国有建筑企业的数字化转型对碳排放强度的降低作用可能不如非国有建筑企业显著,或者甚至可能导致碳排放强度有所增加,验证研究假设 H3 数字化转型的碳减排效应存在产权异质性。首先,国有建筑企业可能因决策流程复杂、管理模式传统、运营效率提升缓慢等因素,难以充分利用数字化转型带来的减排潜力。相比之下,非国有建筑企业则可能因具有更高的自主性和灵活性,能够更快地采用 BIM、智能建造等新技术和模式,实现运营效率的快速提升,从而更有效地降低碳排放强度。其次,非国有建筑企业碳排放含量高于国有建筑企业,在进行数字化转型后,非国有建筑企业碳排放量的边际效益比国有建筑企业高,因此国有建筑企业碳减排效果可能不如非国有建筑企业。最后,国有建筑企业更多采用减产的方式实现节能目标,而非国有建筑企业更多采用能源效率提升的方式。

4.4.3 数字技术异质性

吴非(2021)^[18]的研究表明多种数字技术都有助于推动碳减排。因此,我们把数字化转型的指标划分成"底层技术层面"和"实践应用层面"两大类,其中包括 AI、(BC)区块链、CC、大数据(DT)和(ADT)五个重要的子项目。实证分析结果如表 15 第(3)—(7)列所示,通过对比各指标的数据可知,人工智能、区块链、云计算、大数据等数字化技术均对碳排放强度有显著的负向影响。这些技术不仅通过智能控制与管理优化建筑能耗,利用区块链技术确保碳排放数据的准确追踪与管理,还借助云计算技术提升数据中心能效并实现远程监控,同时大数据技术深入挖掘能耗数据以制定优化策略。此外,这些技术通过数字化管理手段,在装配式建筑的设计、生产、运输、安装及运维等全生命周期中发挥了关键作用。特别是在装配式建筑领域,数字化技术不仅优化了生产计划与物流运输,

减少了能耗和排放，还通过智能控制与管理系统，实现了建筑能耗的精准预测与优化。同时，大数据技术的应用为建筑企业提供了丰富的能耗数据支持，助力其制定更加科学的碳减排策略。这些数字化技术与装配式建筑的深度融合，共同推动了建筑行业的绿色转型，为实现可持续发展目标奠定了坚实基础。综上所述，这些数字化技术通过多种方式共同作用于建筑企业的碳减排实践，推动了行业的可持续发展，特别是在装配式建筑及数字化管理等关键环节上展现了显著成效。

表 15 异质性检验结果

变量	产权异 质性	地区异 质性	数字技术异质性				
	Intenco 2	Intenco2	Intenco2	Intenco2	Intenco2	Intenco2	Intenco2
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Digital	-0.006(0.580)	-0.031** *(0.002)					
Digital ×soe	0.42** *(0.000)						
Digital × region		0.139** *(0.003)					
AI			-0.038** *(0.000)				
BC				-0.011** *(0.010)			
DT					-0.013** *(0.001)		
CC						-0.014** *(0.004)	
ADT							-0.013** *(0.001)
控制变 量	是	是	是	是	是	是	是
Year	是	是	是	是	是	是	是
Code	是	是	是	是	是	是	是
N	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118
R ²	0.072	0.031	0.028	0.006	0.045	0.031	0.045

5 结论与建议

5.1 研究结论

本文根据实证分析结果得出以下结论：

(1)建筑企业作为碳排放的主要源头，在实现我国“双碳”目标的过程中承担着举足轻重的责任。尽管受限于数据获取的难度，相关研究在过去相对匮乏，但本文通过对中国上市公司 2000 年至 2021 年的详尽数据处理与分析，不仅验证了建筑企业数字化转型对碳减排的积极影响，还深入剖析了其背后的传导机制，为这一领域的研究填补了重要空白。研究结果显示，数字化转型不仅显著降低了建筑企业的碳排放强度，这一结论在多种稳健性检验中均得到了强有力的支撑，进一步证明了其稳定性和可靠性。

(2)数字化转型之所以能有效促进碳减排，主要得益于其在技术创新、生产效率提升以及生产经营结构优化等方面的多重作用。具体而言，数字化转型激发了企业的绿色创新能力，推动了绿色技术的研发与应用，如智能化建筑设计、能效管理系统等，显著提高了资源的利用效率，减少了不必要的能耗。同时，数字化转型还通过优化生产流程、提升全要素生产率，降低了企业的经营成本率，从而间接减少了碳排放。

(3)数字化转型对不同产权性质建筑企业的碳减排效应呈现出一定的异质性。国有企业和民营企业由于资源禀赋、管理机制等方面的差异，在数字化转型过程中展现出了不同的碳减排效果。然而，从地域角度来看，数字化转型的碳减排效应并未表现出明显的地区差异性，这表明数字化转型的绿色低碳效应具有普遍的适用性。

5.2 政策建议

本研究还从多个角度提出了促进企业数字化转型和碳减排的具体措施。

(1) 建筑企业应加大对数字绿色建筑技术研发的投入，利用数字技术挖掘创新点，提高能源效率。在技术创新方面，要继续加大数字技术研发投入，继续攻克低能耗、高效率技术，促进技术成果转化和应用，利用数字技术挖掘建筑节能和可再生能源利用领域的创新点。例如，通过数字仿真技术优化建筑设计方案，提高建筑的能源效率；利用物联网技术实时监控建筑能耗，实现精准管理。进一步发挥上市公司数字化对全要素生产率的促进作用。加快数字技术升级应用，深化数字技术在研发设计、生产制造、仓储物流、营销服务等领域的应用，实现从生产端到销售端的数字化。其次，企业要加快建设数字化工厂和智能工厂，加大对人工智能、机器人、互联平台、智能传感器等智能设备的投资，精准控制产品生产效率和质量，逐步向智能制造转型。企业要转变经营思维，增强 IT 意识，进一步扩大软硬件投资，加大数字化投资。最后，我们应该创新传统的自营模式，通过互联网和电子商务平台不断探索新的商业模式，如当前新兴的直播销售，跟上消费者需求和市场变化。

(2) 利用数字化工具和能源管理系统优化流程，引入智能技术实现能源高效利用。在提高运营效率方面，要充分利用数字化项目管理工具和能源系统，优化施工流程，合理安排资源，减少施工过程中的能源浪费和碳排放。同时，引进智能设备和技术，对高耗能设备进行改造升级，实现能源的高效利用。

(3) 加强建筑企业之间的交流与合作，利用数字金融支持推动绿色供应链建设。在改善营商环境方面，我们将分享节能减排的经验和技术，共同推进绿色供应链建设。此外，我们应该充分利用数字金融的支持，申请低息绿色贷款，为绿色建筑项目和数字化转型提供资金保障。

(4) 在自贸区试行数字碳监管豁免机制，对应用区块链可追溯性和人工智能能效管理等新技术的企业给予 3 年的碳排放配额豁免期。引入智能合约技术，实现碳交易自动清算和跨链互认，降低交易成本。建立“数据沙箱”监管模式，

在湖北、湖南等中部省份试点区块链碳数据认证平台。通过智能合约，实现政府监管节点、企业数据节点和第三方身份验证节点之间数据访问权限的分级管理，确保数据共享和商业秘密保护之间的平衡。借鉴金融领域的“监管链”模式，构建建筑碳链责任追溯网络，要求年排放量高的企业获取并实现从设计、施工到运维的碳排放数据的全链渗透监管，并对数据欺诈实施区块链认证和问责。

5.3 研究局限与未来展望

5.3.1 研究局限

尽管本研究系统分析了建筑企业数字化转型对碳减排的影响及其机制，但仍存在以下局限性：

（1）数据覆盖范围有限：研究样本仅涵盖中国上市建筑企业，未纳入中小型非上市企业及地方性建筑公司。由于非上市企业在管理机制、资源禀赋和技术应用方面存在显著差异，研究结论的普适性可能受限。此外，碳排放数据依赖于间接测算方法，可能无法完全反映企业实际排放水平。

（2）数字化转型测度的局限性：尽管采用文本分析法构建数字化转型指标，但该方法主要依赖年报关键词频率，难以全面衡量企业数字化转型的实际深度与技术落地效果。例如，部分企业可能仅进行表面数字化宣传，而未实质性推动技术应用。

（3）区域异质性分析的深度不足：虽然发现地区差异不显著，但未进一步探讨中西部地区通过政策补贴或技术进实现“后发优势”的具体路径，也未量化区域政策环境对数字化转型效果的调节作用。

（4）本文中存在不可避免的数据稳健性问题。人们普遍认为二氧化碳是主要的大气污染物，因此很难用二氧化碳作为因变量来代替样品。在这项研究中，二氧化硫被用作替代品，以证明数据的稳健性，因为数据存在固有误差。后续研究可以改进二氧化碳的测量和数据收集。

5.3.2 未来展望

针对上述局限，未来研究可从以下方向拓展：

（1）扩展数据维度与样本范围：整合非上市企业数据及微观项目级碳排放数据，结合实地调研或物联网传感器数据，提高碳排放测算精度，同时，延长研究时间跨度以捕捉数字化转型与碳减排的长期动态关系。

（2）深化数字化转型测度体系：构建多维度指标，涵盖技术应用强度（如BIM使用率）、员工数字化技能、供应链协同水平等，结合案例研究验证指标有效性

（3）探索政策与技术协同机制：分析碳交易市场、绿色金融政策与数字化转型的交互效应，例如探究碳价信号如何激励企业采用智能减排技术。

参考文献

- [1] 杨英楠,张治成,马远东,等.技术逻辑视角下建筑业数字化转型路径分析[J].科技管理研究,2022,42(24):137-142.
- [2] 王璞瑾,肖建庄,肖绪文,等.数字化技术在建筑工程施工中的应用与前瞻[J].同济大学学报(自然科学版),2024,52(07):1068-1078.
- [3] 刘佳,陈金锋,穆锐.智能建造背景下装配式建筑生产控制的优化设计与应用研究[J].建筑结构,2023,53(S1):1178-1182.
- [4] 江文化,谢学文,杨向歌.建筑企业推进数字化转型的路径与实践研究[J].铁道工程学报,2024,41(01):88-92.
- [5] 李平瑞,赵旭.数字经济时代建筑行业的转型发展研究[J].工程抗震与加固改造,2023,45(05):194.
- [6] Zhu H ,Wang L ,Li C , et al.Building a Digital Transformation Maturity Evaluation Model for Construction Enterprises Based on the Analytic Hierarchy Process and Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory Method [J].Buildings,2023,14(1):
- [7] Kathrin B ,Cordula K .Building a better world? Competing promises, visions, and imaginaries-in-the-making of the digitalization of architecture and construction[J].Futures,2023,154
- [8] Asif M ,Naeem G ,Khalid M .Digitalization for sustainable buildings: Technologies, applications, potential, and challenges[J].Journal of Cleaner Production,2024,450141814-.
- [9] 罗福周,唐佳.第三方监督下政企低碳减排策略演化博弈研究[J].生态经济,2020,36(04):30-34.
- [10] 何理,甄皓晴,冯科.数字化转型与企业碳减排[J].安徽师范大学学报(社会科学版),2025,53(01):85-99.
- [11] 王雯洁,鲍丙朋,喻春娇.外部需求、数字化与企业碳排放绩效[J].世界经济研究,2024,(09):77-91+136.
- [12] Borozan D ,Pirgaip B .Climate policy uncertainty and firm - level carbon dioxide emissions: Assessing the impact in the U.S. market[J].Business Strategy and the Environment,2024,33(6):5920-5938.
- [13] 张珺倩,郑永扣.数字化转型能减少企业碳排放吗? ——来自中国上市公司的证据[J/OL].工程管理科技前沿,1-13[2025-01-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1013.N.20241128.0948.006.html>.
- [14] 张悦,来逢波,程钰.市域尺度上市企业数字化转型演变及对碳排放影响[J].经济地理,2024,44(05):106-116.
- [15] 陈军,张靖凯.中国制造业企业数字化转型对碳排放强度的影响研究[J].统计理论与实践,2024,(04):19-24.
- [16] 张雨菲.建筑施工企业数字化转型对碳中和的影响研究[D].中国矿业大学,2023.DOI:10.27623/d.cnki.gzkyu.2023.001590
- [17] 牛良年.建筑业数字化转型影响因素分析及其对可持续发展影响的研究[D].山西大学,2023.DOI:10.27284/d.cnki.gsxiu.2023.001907.
- [18] 吴非,胡慧芷,林慧妍等.企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性

- 的经验证据[J].管理世界,2021,37(07):130-144+10.
- [19]朱丽,陆盛武,梁积峰,等.基于 BIM 技术的装配式建筑节能减排分析与评价[J].建筑经济,2022,43(S2):302-306.DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.2022S2302.
- [20]韩超,陈震,王震.节能目标约束下企业污染减排效应的机制研究[J].中国工业经济,2020,(10):43-61.DOI:10.19581/j.cnki.ciejournal.2020.10.009.
- [21]傅超,潘乐扬.区块链技术对企业全要素生产率的影响研究——基于信任构建和降本增效的视角[J].杭州电子科技大学学报(社会科学版),2024,20(04):26-41.DOI:10.13954/j.cnki.hduss.2024.04.003.
- [22]严坤,高晗博,冯则实,等.关于建立工业园区统一规范碳核算方法体系的思考[J].中国环境管理,2023,15(03):5-16.DOI:10.16868/j.cnki.1674-6252.2023.03.005.
- [23]陶长琪,谢涛,徐晔.绿色技术创新与减污降碳协同增效——基于联合减排与环境改善的视角[J].统计研究,2025,42(04):31-47.DOI:10.19343/j.cnki.11-1302/c.2025.04.003.
- [24]蓝发钦,周胜娣.数字化转型、企业适度规模与并购行为[J/OL].世界经济,2025,(04):197-228[2025-04-24].<https://doi.org/10.19985/j.cnki.cassjwe.2025.04.007>.
- [25]高峰.新质生产力视域下财税政策的适应性调整与优化路径[J/OL].西安财经大学学报,1-17[2025-04-24].<https://doi.org/10.19331/j.cnki.jxufe.20250422.001>.
- [26]张秀武,沈洋.人工智能对减污降碳协同治理的影响效应及作用机制研究[J/OL].现代财经(天津财经大学学报),2025,(05):77-94[2025-04-24].<https://doi.org/10.19559/j.cnki.12-1387.2025.05.005>.
- [27]杨屹,苏越.关中平原城市群碳收支时空分异特征及碳平衡驱动因素分析[J/OL].中国环境科学,1-23[2025-04-24].<https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20250213.002>.
- [28]田晖,张俊鹏.地区绿色转型政策是否有助于提升出口技术复杂度——基于低碳城市建设的证据[J].哈尔滨商业大学学报(社会科学版),2025,(02):114-128.
- [29]肖义,孔庆申.资源型城市可持续发展政策对碳排放效率的影响[J].自然资源学报,2025,40(03):833-854.
- [30]彭文斌,苏欣怡,邝嫦娥,等.长株潭都市圈数字经济对碳排放效率的影响及空间效应[J].地理学报,2024,79(11):2915-2928.
- [31]赵文武,尹彩春,张军泽,等.地理学支撑 SDGs 研究进展与展望——兼议“可持续地理学”理论框架[J].地理学报,2024,79(11):2699-2720.
- [32]张骏,郭娜.银行金融科技对实体企业融资效率的提升效应——基于银企关联视角的经验研究[J].经济与管理研究,2025,46(05):37-55.DOI:10.13502/j.cnki.issn1000-7636.2025.05.003.
- [33]Zhao S ,Li Z ,Deng H , et al.Spatial-temporal evolution characteristics and driving factors of carbon emission prediction in China-research on ARIMA-BP neural network algorithm[J].Frontiers in Environmental Science,2024,121497941-1497941.

- [34]Li, Z., Yuan, P., Zhao, S., Deng, H., & Yuan, B. (2024). Research on Crop Planting Strategy Problem Based on Optimization Greedy Algorithm. Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences.